

VALIDAÇÃO DE UM SOFTWARE DE PREDIÇÃO DA PRESSÃO INTERNA DURANTE PROCESSO DE ESTERILIZAÇÃO DE ALIMENTOS

CAMILA B. **KAIHATU**¹; MARIA ISABEL **BERTO**²; ALFREDO A. **VITALI**³


Nº 10207

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi validar um software capaz de prever a pressão interna de embalagens metálicas durante o processamento térmico. A primeira parte deste projeto consistiu no levantamento do perfil de deformação da lata cilíndrica de folha de flandres de dimensões 99 mm X 118 mm, através de testes realizados em bancada experimental. Uma equação foi ajustada aos dados experimentais de variação volumétrica em função da variação de pressão aplicada, que foi posteriormente utilizada no software.

A segunda parte constou da realização de processamentos térmicos em embalagens de 83 X 38 mm, 99 X 118 mm e 155 X 152 mm, munidas de sensores de temperatura no centro e no espaço livre e de pressão, cujos dados foram utilizados para validação do software de pressão interna codificado por BERTO (2007) em LabView 7.1.

Os resultados mostraram que a temperatura do espaço livre pode ser simulada através de uma ponderação das temperaturas da autoclave e do ponto de aquecimento mais lento. O software testado foi eficaz para simular a pressão interna das embalagens durante o processamento térmico. O cálculo desta pressão interna é função de uma temperatura calculada pela ponderação das temperaturas da autoclave e do ponto de aquecimento mais lento do produto, porém não necessariamente igual à ponderação utilizada para simulação do espaço livre da embalagem, como constatado no trabalho de referência (BERTO, 2007), para latas medindo 73x79 mm.

1. Bolsista CNPq: Graduação em Eng. de Automação e Controle, UNISAL, Campinas-SP,
 camilakaihatu@yahoo.com.br
2. Orientadora: Pesquisadora, GEPC/ITAL, Campinas-SP
3. Colaborador: Pesquisador, GEPC/ITAL, Campinas-SP

ABSTRACT

The objective of this work was to validate a software to predict the internal pressure of metallic containers during thermal processing. In the first part of this project the behavior of deformation according to internal pressure was determinate for tinfoil cylindrical can with dimensions of 99 mm X 118 mm, in the built experimental apparatus. A polynomial equation was adjusted to experimental data of volumetric variation according to pressure variation applied, that was later used in software.

Thermal processing tests was realized using containers with dimensions of 83 mm X 38 mm, 99 mm X 118 mm and 155 mm X 152 mm. The cans provided with temperature sensors in center and head space and pressure sensor, whose data were used to validate the software of internal pressure calculation.

The experimental results proved that the head space temperature can be calculated through a weighted average between retort and the slowest heating point of product temperatures. The software predicted satisfactorily the internal pressure of cans during thermal treatment. The internal pressure could be correlated also to a weighted average between retort and the slowest heating point of product temperatures, but not necessarily the same weighted used to predict head space temperature, as pointed in BERTO (2007) for 73 X 79 mm cans.

INTRODUÇÃO

O processamento térmico é um dos métodos de conservação de alimentos mais usuais e consiste na exposição dos alimentos a certa temperatura por um determinado tempo (TOLEDO, 1991). A pressão e a contrapressão sofrida pelas embalagens durante o processamento térmico influenciam diretamente em sua integridade e conseqüentemente na segurança e acuidade do produto nela contido. Elas podem causar deformações irreversíveis como: estufamento, rompimento e comprometimento da hermeticidade e conseqüentemente recontaminação do produto nela contido (REICHERT, 1988). O estudo da flexibilidade da embalagem pode ser realizado através do levantamento de dados experimentais de sua deformação em função da pressão efetiva na qual está submetida (BERTO et al., 2008). O prévio conhecimento deste comportamento subsidia no cálculo da quantidade de produto a ser acondicionado, no dimensionamento da altura do espaço livre, além de indicar a necessidade de aplicação de uma contrapressão na autoclave durante o processamento (BERTO & VITALI, 2009). BERTO (2007) codificou um software em Labview 7.1 para simular a pressão interna de embalagens utilizando os fundamentos

apresentados por REICHERT (1988). O mesmo simulou satisfatoriamente a pressão interna de embalagens de 73 x 79 mm (latas de seleta, milho, ervilhas etc.) em função da temperatura do espaço livre da embalagem. Devido à importância e aplicação comercial, este projeto vem ampliar este estudo para latas de alumínio de 83 mm X 38 mm, e de folha de flandres de 99 mm X 118 mm que são encontradas no mercado comumente acondicionando atum e feijoadas prontas respectivamente. Também foram testadas uma lata de folha de flandres de 155 mm X 152 mm, conhecida por lata de 6 libras, muito utilizada para exportação de produtos cárneos esterilizados.

MATERIAL E MÉTODOS

Determinação do ponto de deformação permanente da lata de 99mm X 118 mm:

Realizada na mesma bancada experimental montada por ALVES et al (2009). A lata foi preenchida com água e colocada sobre a balança semi-analítica (AND, modelo EK-12Kg) cujos dados de massa obtidos após a variação da pressão interna das embalagens imposta pelas bombas (Cenco, Hyvac 14 e Fabbe/Primar, modelo 141) permitiu o cálculo da variação volumétrica da embalagem. Os experimentos foram realizados em triplicata. A lata foi submetida a variações de pressão entre -0,91 bar e 1,44 bar, intercalando-se o aumento de pressão e o vácuo, em intervalos de 0,16 bar. A leitura de massa era realizada na passagem pela pressão ambiente. Considerou-se o ponto de deformação permanente a pressão imposta na qual a embalagem não mais retornou ao seu volume inicial.

Determinação da variação volumétrica e da deformação da tampa da lata:

Esse experimento utilizou a mesma bancada, porém, primeiramente foi aplicada pressão positiva até pouco antes do valor máximo de deformação permanente da embalagem, e em seguida foi realizada a variação de pressão negativa até o vácuo máximo da bomba. O perfil de deformação foi obtido ajustando-se equações polinomiais aos dados experimentais de variação de volume versus pressão efetiva. Os perfis de deformação das outras embalagens processadas na autoclave (83 X 38 mm e 155 X 152 mm) foram previamente determinados por ALVES et. al (2009).

Ensaio Experimental: Os tratamentos térmicos foram realizados em uma autoclave piloto, munida de sensores de pressão de temperatura e válvulas solenóides, acionadas remotamente através de software supervisor (BERTO & VITALI 2009). Foram processadas latas de alumínio de 83 X 38 mm, latas de folha de flandres de 99 X 118 mm e 155 X 152 mm. Sensores de pressão (Danfoss modelo AKS3000) e sensores de temperatura (termopares tipo T, com conexões Ellab) foram instalados nas embalagens para aquisição da pressão interna e temperaturas do ponto de aquecimento mais lento (centro geométrico) e do topo das mesmas. Todas as latas foram preenchidas com solução de bentonita 8%, que possui características

condutivas de transferência de calor (BERTO et al., 2006). As latas de 83 X 38 mm foram preenchidas com 150g deixando-se um espaço livre de 8 mm. As latas de 99 X 118 mm e 155 X 152 mm foram preenchidas com 800g e 2660g de bentonita respectivamente e o espaço livre deixado em ambas foi de 16 mm. Nos ensaios com estes dois tipos de lata também foi adquirida a variação de altura da tampa durante o processamento utilizando o sensor de deformação (Stock, CEP 200), posicionado no centro geométrico das tampas. O processo térmico constou das etapas de: **Desaeração**, na qual o próprio vapor para arrastar o ar da autoclave; **Pressurização** na qual a temperatura da autoclave atinge pela primeira vez a temperatura de set-point de processo; **Processo** no qual a temperatura da autoclave permanece constante por um período de tempo pré-determinado, que na prática é suficiente para esterilizar o produto. **Resfriamento**, onde o vapor é interrompido e é liberada a entrada de água da autoclave. No início desta fase é realizado um controle de contrapressão para manter a integridade das embalagens.

Software simulador da pressão interna: Foi elaborado por BERTO & VITALI (2009), codificado em Labview 7.1, que teve como base de cálculo o estudo realizado por REICHERT (1988). Neste estudo, a pressão interna das embalagens sob processamento térmico foi predita em função da temperatura do espaço livre e de outras relações entre as temperaturas da autoclave e do ponto de aquecimento mais lento da embalagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Perfil de Deformação da Embalagem:

No experimento o ponto de deformação permanente da lata de 99 mm X 118 mm foi determinado quando a pressão atinge 1,44 bar. Através de ajustes polinomiais foram determinadas equações para variação volumétrica em função da pressão e pressão em função da deformação e calculado o RSD (Residual Standard Deviation) para verificar a qualidade das equações, foram encontrados os valores de 9,98% e 3,88%, respectivamente.

Equação da variação volumétrica (ml) em função da pressão efetiva (bar)

$$\Delta V(ml) = -23,47 p^6 + 66,38 p^5 - 31,35 p^4 - 40,33 p^3 + 22,29 p^2 + 31,82 p + 2,50$$

Equação da variação volumétrica (ml) em função da deformação da tampa medida (mm):

$$\Delta V(ml) = -0,0066 d^6 + 0,0758 d^5 - 0,254 d^4 - 0,0372 d^3 + 1,775 d^2 + 4,0366 d + 0,05042$$

- Predição da temperatura do espaço livre das embalagens.

BERTO (2007) constatou que a temperatura do espaço livre das embalagens de 73x79 mm (seleta) é função de uma ponderação entre as temperaturas da autoclave (T_A) e do centro geométrico da embalagem (T_C) ($T_{EL} = 0,7 T_A + 0,3 T_C$). A Tabela 1 mostra as relações utilizadas para simular as temperaturas do espaço livre das três embalagens processadas; o número de ensaios experimentais cujos dados foram utilizados para este ajuste e os respectivos coeficientes de correlação (R^2) e RSD em % mínimos e máximos calculados.

TABELA 1: Funções para predição da temperatura do espaço livre da embalagem

Lata (mm)	Nº de ensaios	Equação ajustada	R^2	RSD (%)
99 X 118 (Feijoadas)	3	$T_{EL} = 0,95 T_A + 0,05 T_C$	0,9866 a 0,9952	3,49 a 5,32
155 X 152 (6 Libras)	3	$T_{EL} = 0,95 T_A + 0,05 T_C$	0,9861 a 0,9944	3,45 a 5,97
83 X 38 (atum)	3	$T_{EL} = 0,20 T_A + 0,80 T_C$	0,9618 a 0,9861	3,67 a 6,25

- Predição da Pressão interna das embalagens

A Tabela 2 mostra o número de ensaios experimentais cujos dados de pressão experimental foram utilizados para validar o software simulador de pressão interna, o R^2 médio obtido e o RSD para cada tipo de embalagem. A pressão interna das embalagens foi predita em função do perfil de uma ponderação entre as temperaturas da autoclave e do centro da embalagem, T_{POND} , que não necessariamente foi mesma encontrada para simular a temperatura do espaço livre como constatado por BERTO & VITALI (2009) para embalagens de 73x79 mm.

TABELA 2: Parâmetros estatísticos das simulações das pressões internas das embalagens

Lata	Nº ensaios	Cálculo de T_{POND}	R^2	RSD (%)
99 X 118 mm (feijoadas)	3	$T_{POND} = 0,8 T_A + 0,2 T_C$	0,9379 a 0,9737	6,02 a 10,07
155 X 152 mm (6 libras)	3	$T_{POND} = 0,85 T_A + 0,15 T_C$	0,9568 a 0,9769	4,57 a 7,21
83 X 38 mm (atum)	5	$T_{POND} = 0,7 T_A + 0,3 T_C$	0,9163 a 0,9656	8,12 a 10,24

As Figuras 1, 2 e 3 mostram um gráfico dos dados de pressão experimentais e simulados de um dos ensaios realizados em cada tipo de embalagem.

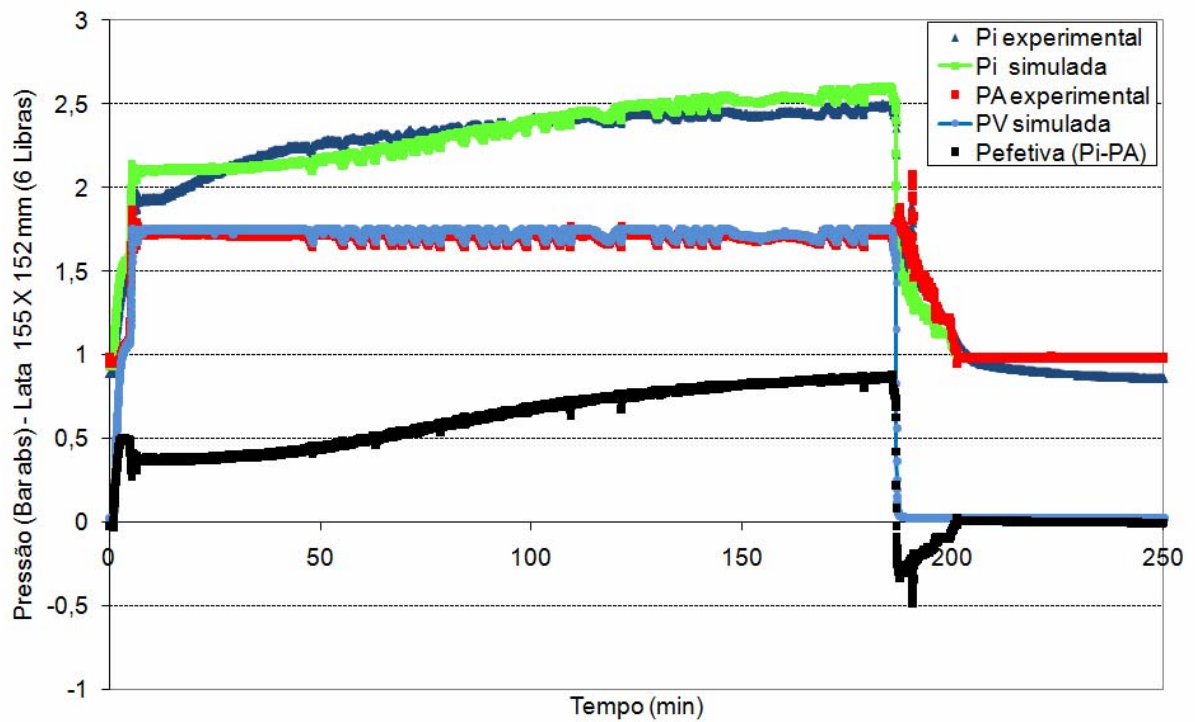


Figura 1 - Pressões experimentais e simuladas das latas de 155X152 mm (6 Libras).

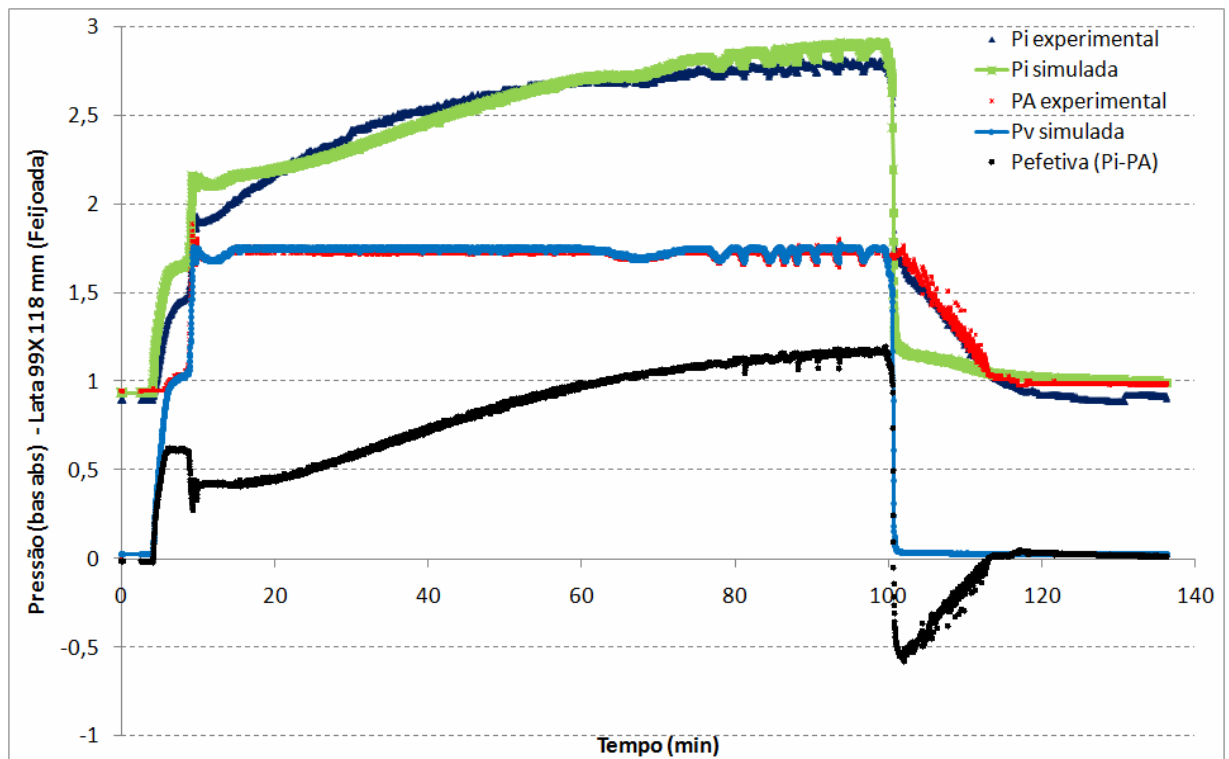


Figura 2 - Pressões experimentais e simuladas das latas de 99X118 mm (Feijoadas).

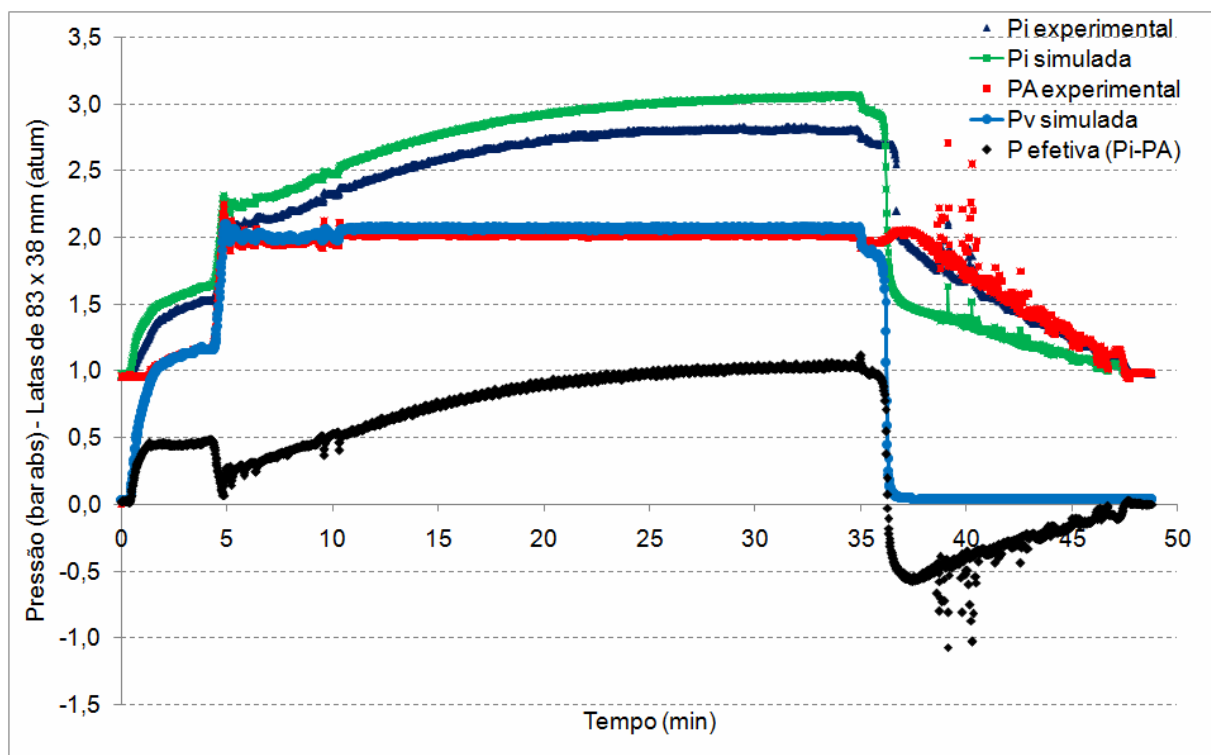


Figura 3 - Pressões experimentais e simuladas das latas de 83X38 mm (Atum).

CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos neste trabalho foi possível ajustar funções para prever a temperatura do espaço livre das embalagens, durante o processamento térmico, confirmando que a mesma é uma média ponderada entre as temperaturas da autoclave e centro da embalagem. A validação do software simulador da pressão interna comprovou que a mesma também é função direta de uma temperatura proveniente da ponderação entre as temperaturas da autoclave e centro da embalagem, e que não é necessariamente a mesma ponderação da temperatura do espaço livre. Este trabalho é inédito na área de termoprocessamento e será fundamental para subsidiar controles de contra-pressão que possam vir a ser implementados durante o processamento térmico de embalagens.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ – PIBIC, pela bolsa concedida.

Ao GEPC – ITAL, pela oportunidade de estágio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L. E. V.; BERTO, M. I. E VITALI, A. A. Determinação da deformação de embalagens em função da variação da pressão efetiva. In: 3º Congresso Int. de

Iniciação Científica, CIIC 2009, Campinas, (978-85-7029-093-9)
ITAL/IAC/Embrapa Meio Ambiente Inf. Agr.

BERTO, M. I. **Desenvolvimento, Implementação e avaliação experimental de um sistema de controle em tempo real para processos de esterilização de alimentos.** Campinas, 2007. Pós-doutorado em Eng. de Alimentos (Fapesp 04/01998-6). Orientação: Alfredo de Almeida Vitali. Grupo de Engenharia e Pós-Colheita, Instituto de Tecnologia de Alimentos.

BERTO, M. I.; GRATÃO, A. C. A. e VITALI, A. A. **Estudo da deformação de latas em função da variação de pressão interna.** XVII Cong. Brasileiro de Eng. Química, Recife, 2008.

BERTO, M. I. E VITALI, A. A. Sistema de Controle em tempo real da pressão da autoclave durante processamento térmico. **Patente n.PI-0900630-3**, Modelo de Utilidade. Depósito em 27 de fevereiro de 2009, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Brasil.

REICHERT, J. E. **Tratamiento termico de los productos carnicos: fundamentos de los calculos y aplicaciones.** Trad. Jaime E. Escobar e Santiago C. Uson. Zaragoza: Acribia, 1988. 175p.

TOLEDO, R. T. **Fundamentals of food process engineering.** 2.ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 602p.